

PENGARUH DRIVING CYCLE TERHADAP EMISI KENDARAAN MENGUNAKAN PROGRAM MOVES PADA RUAS JALAN NUSANTARA KOTA MAKASSAR

*Siti Nurfajrina J. Patunrangi¹, Muhammad Ikbal², Mhd. Alfikar Marpaung³, Nurul⁴, dan Sri Hardianti Samad⁵

^{1,2,3,4,5} Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo

*Snurfajrina@ung.ac.id, Received: Jan 2026, Revised: May 2026, Accepted: Jul. 2026

Abstrak: Kemacetan lalu lintas perkotaan di kota berkembang menghasilkan pola berkendara yang kompleks dan berpengaruh kuat terhadap emisi kendaraan. Penelitian ini bertujuan menganalisis driving cycle lokal serta dampaknya terhadap emisi kendaraan ringan di Jl. Nusantara, Makassar, sebagai representasi koridor jalan nasional perkotaan. Fokus penelitian adalah mengkuantifikasi hubungan antara perilaku kecepatan dan pembentukan polutan menggunakan karakteristik berkendara lokal. Metode penelitian menggabungkan pengumpulan data kecepatan detik-per-detik untuk membangun driving cycle lokal dengan estimasi emisi berbasis Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES). Dinamika lalu lintas diklasifikasikan menjadi creeping, acceleration, deceleration, dan cruising, kemudian dianalisis kontribusinya terhadap emisi. Analisis regresi digunakan untuk menilai hubungan antara kecepatan rata-rata dan intensitas emisi (g/km). Hasil menunjukkan creeping mendominasi hingga 60,96 % dengan pola stop-and-go yang kuat. Karbon monoksida CO menjadi polutan dominan dengan nilai maksimum 9,829 g/km, sedangkan HC <0,127 g/km dan NOx 0,047–0,230 g/km. Emisi menurun seiring peningkatan kecepatan pada rentang 5–35 km/jam dengan $R^2 > 0,8$. Penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi driving cycle lokal dalam pengendalian emisi perkotaan.

Kata kunci: Driving cycle, Emisi kendaraan ringan, Kemacetan lalu lintas, Kecepatan kendaraan, MOVES

1. INTRODUCTION

Pertumbuhan aktivitas transportasi di kawasan perkotaan merupakan salah satu sumber utama pencemaran udara. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor berbahan bakar fosil mendorong tingginya emisi gas buang yang berdampak langsung terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat. Di kota-kota besar Indonesia, urbanisasi yang cepat belum diimbangi dengan pengembangan transportasi publik yang memadai sehingga ketergantungan terhadap kendaraan pribadi meningkat (Saniyyah, 2024; Anastasya & Suwandana, 2022). Kondisi ini memicu kemacetan, pola berkendara stop-and-go, serta akselerasi dan deselerasi berulang yang memperburuk tingkat emisi di koridor jalan perkotaan.

Polusi udara perkotaan terutama berasal dari emisi kendaraan berupa karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), hidrokarbon (HC), dan partikulat. Berbagai studi menunjukkan bahwa emisi lalu lintas menjadi kontributor utama terhadap penurunan kualitas udara dan peningkatan risiko gangguan pernapasan. Kota Makassar sebagai pusat pertumbuhan di Indonesia Timur juga mengalami peningkatan jumlah kendaraan yang signifikan. Berdasarkan data Electronic

Registration and Identification (ERI) Korps Lalu Lintas Polri, pada April 2025 jumlah kendaraan bermotor di Kota Makassar mencapai sekitar 2,11 juta unit, yang terdiri atas 1,65 juta sepeda motor, 353,07 ribu mobil penumpang, 100,36 ribu mobil barang, 3.225 bus, dan 4.613 kendaraan khusus. Tingginya jumlah kendaraan tersebut berpotensi meningkatkan beban emisi transportasi yang berdampak pada kualitas udara perkotaan. Selain kuantitas kendaraan, karakteristik pergerakan yang tidak stabil akibat kemacetan menghasilkan kecepatan rendah, waktu berhenti tinggi, dan variasi akselerasi besar yang meningkatkan emisi per kilometer perjalanan.

Sebagian besar penelitian di Indonesia masih menggunakan pendekatan makroskopik sehingga belum merepresentasikan berkendara secara aktual. Pendekatan driving cycle yang menggambarkan profil kecepatan terhadap waktu menjadi penting untuk menangkap kondisi mikro lalu lintas. Data tersebut dapat diperoleh melalui Floating Car Survey (FCS) berbasis GPS dan dianalisis menggunakan software MOVES yang mempertimbangkan parameter operasional kendaraan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan memodelkan estimasi emisi kendaraan ringan di Kota Makassar khususnya pada jalan Nusantara

menggunakan driving cycle lokal hasil FCS yang dianalisis dengan MOVES. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi data empiris detik-per-detik dengan pemodelan emisi dalam konteks perkotaan Indonesia sebagai dasar pengendalian kualitas udara yang lebih berkelanjutan.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada ruas jalan nasional utama di Kota Makassar, yaitu Jalan Nusantara sepanjang $\pm 1,1$ km dengan tipe geometrik enam lajur dua arah bermedian. Ruas ini dipilih karena berfungsi sebagai koridor primer pergerakan perkotaan dengan intensitas lalu lintas tinggi dan variasi kecepatan yang besar, sehingga representatif untuk kajian emisi kendaraan ringan. Pengumpulan data driving cycle dilakukan menggunakan metode Floating Car Survey (FCS). Kendaraan uji berupa mobil penumpang ringan Toyota Avanza tahun 2019 bermesin 1.300 cc dengan sistem bahan bakar bensin dan transmisi manual sebagai representasi kendaraan penumpang ringan, kendaraan uji dilengkapi perangkat GPS Garmin yang merekam posisi, waktu, dan kecepatan kendaraan setiap satu detik. Survei pada jam sibuk pagi (07.00–10.00) dan sore (15.00–17.00). Pengemudi diarahkan mengikuti kecepatan arus lalu lintas (ambient speed) agar pola berkendara merepresentasikan kondisi aktual.

Data GPS diunduh dan diproses melalui tahap pembersihan, pengelompokan, serta perhitungan parameter mikro seperti kecepatan, akselerasi, deselerasi, creeping, dan idling. Data tersebut kemudian diformat menjadi driving cycle lokal untuk membentuk operating mode dan linkdrive pada software MOVES.

Estimasi emisi dilakukan menggunakan MOVES dengan mempertimbangkan Vehicle Specific Power (VSP), karakteristik jalan, distribusi umur kendaraan, dan kondisi meteorologi. Output berupa emisi HC, CO, dan NO_x (gram/km) dianalisis secara deskriptif dan komparatif antar periode waktu untuk menggambarkan kontribusi kendaraan ringan terhadap pencemaran udara perkotaan di Makassar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

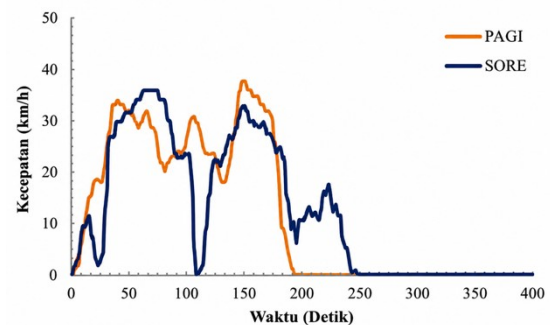
Penelitian ini menyajikan hasil empiris karakteristik driving cycle kendaraan ringan, parameter pergerakan, estimasi emisi menggunakan MOVES, serta hubungan antara kecepatan rata-rata dan emisi pada Jl. Nusantara, Makassar. Seluruh hasil disusun berdasarkan data survei Floating Car Survey (FCS) berbasis GPS dan pemodelan emisi berbasis Vehicle Specific Power (VSP) pada MOVES.

3.1 KARAKTERISTIK DRIVING CYCLE KENDARAAN RINGAN

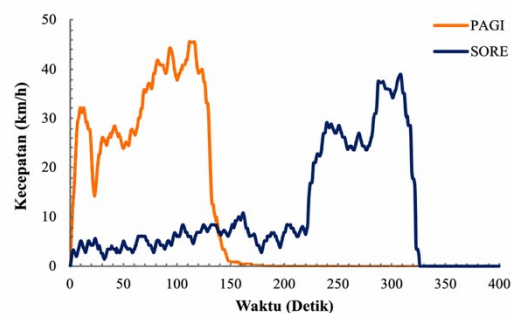
Driving cycle kendaraan ringan diperoleh dari perekaman kecepatan detik-per-detik menggunakan GPS Garmin eTrex 30 pada dua arah perjalanan (A dan B) di Jalan Nusantara selama jam sibuk pagi (07.00–10.00) dan sore (15.00–17.00). Data diplot sebagai hubungan waktu–kecepatan untuk menggambarkan fluktuasi pergerakan kendaraan sepanjang lintasan survei. Pola grafik menunjukkan perubahan kecepatan yang dinamis akibat pengaruh kepadatan lalu lintas, persimpangan, aktivitas samping jalan, dan interaksi antar kendaraan.

Hasil analisis menunjukkan waktu tempuh lintasan umumnya melebihi 300 detik pada sebagian besar arah dan periode pengamatan, mencerminkan panjang lintasan $\pm 1,1$ km dengan arus perkotaan padat.

Fluktuasi kecepatan memperlihatkan karakter percepatan dan perlambatan yang kuat, ditandai perlambatan dan percepatan berulang. Kondisi ini menjadi dasar pembentukan driving cycle lokal karena siklus standar tidak mampu merepresentasikan dinamika lalu lintas perkotaan Makassar secara realistis untuk estimasi emisi.



Gambar 1. Grafik Hubungan Waktu-Kecepatan kendaraan Ringan Pada Jl Nusantara Arah A Saat Jam Sibuk pagi, dan sore

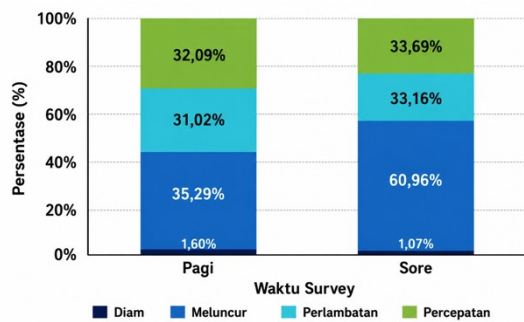


Gambar 2. Grafik Hubungan Waktu-Kecepatan kendaraan Ringan Pada Jl Nusantara Arah B Saat Jam Sibuk Pagi dan sore

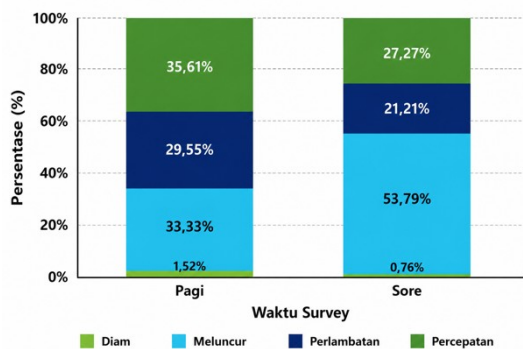
3.2 PARAMETER DRIVING CYCLE

Aktivitas pergerakan kendaraan pada driving cycle diklasifikasikan ke dalam empat kondisi utama, yaitu diam, meluncur, percepatan, dan perlambatan untuk menggambarkan proporsi waktu kendaraan saat berhenti, mempercepat, memperlambat, dan bergerak lambat. Klasifikasi ini merepresentasikan karakter stop-and-go lalu lintas perkotaan secara kuantitatif (Frey et al., 2008; Mei et al., 2021).

Berdasarkan hasil analisis, persentase idling pada kedua arah relatif rendah (<2%), menunjukkan kendaraan jarang berhenti total selama perjalanan. Pada arah A, aktivitas kendaraan didominasi oleh meluncur pada sore hari (60,96%), sedangkan pada arah B didominasi oleh meluncur pada sore hari (53,79%) dan percepatan pada pagi hari (35,61%). Aktivitas percepatan dan perlambatan yang cukup besar pada kedua arah menunjukkan adanya perubahan kecepatan yang berulang akibat interaksi lalu lintas, sehingga berpotensi meningkatkan emisi kendaraan khususnya CO dan HC.



Gambar 3. Parameter Driving Cycle Kendaraan Ringan Pada Jl Nusantara Makassar Untuk Arah A Saat Jam Sibuk Pagi dan Sore (% idling, acceleration, deceleration, creeping)



Gambar 4. Parameter Driving Cycle Kendaraan Ringan Pada Jl Nusantara Makassar Untuk Arah B Saat Jam Sibuk Pagi dan Sore (% idling, acceleration, deceleration, creeping)

3.3 ESTIMASI EMISI MENGGUNAKAN MOVES

Estimasi emisi dilakukan menggunakan Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) dengan

pendekatan operating mode berbasis Vehicle Specific Power (VSP). Parameter input disesuaikan dengan driving cycle lokal hasil survei sehingga distribusi kecepatan dan percepatan aktual diterjemahkan ke dalam estimasi emisi hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan nitrogen oksida (NOx). Hasil menunjukkan emisi HC berada pada kisaran 0,026–0,127 g/km. Nilai tertinggi (0,127 g/km) terjadi pada sore hari arah B, sedangkan terendah (0,026 g/km) pada pagi hari arah B. Emisi CO merupakan yang terbesar dengan kisaran 2,030–9,829 g/km. Nilai maksimum 9,829 g/km tercatat pada sore hari arah B, sedangkan minimum 2,030 g/km pada pagi hari arah B. Dominasi CO berkaitan dengan pembakaran tidak sempurna pada kondisi stop-and-go dan kecepatan rendah. Emisi NOx berada pada kisaran 0,047–0,230 g/km, dengan nilai tertinggi pada sore hari arah B. Variasi emisi antar periode menunjukkan bahwa fluktuasi kecepatan dan intensitas percepatan sore hari cenderung meningkatkan beban mesin dan emisi kendaraan ringan.

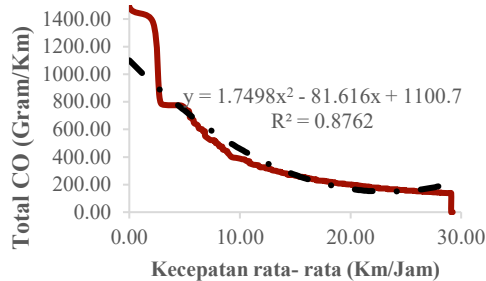
Tabel 1. Output Estimasi Emisi MOVES Pada Jl Nusantara Untuk HC, CO dan Nox (Gram/km) Pada Arah A dan B Saat Jam Sibuk Pagi dan Sore

No	Polutan	Pagi (gram/km)		Sore (gram/km)	
		A	B	A	B
1	HC	0,03	0,03	0,10	0,13
2	CO	2,43	2,03	7,86	9,83
3	Nox	0,06	0,05	0,18	0,23

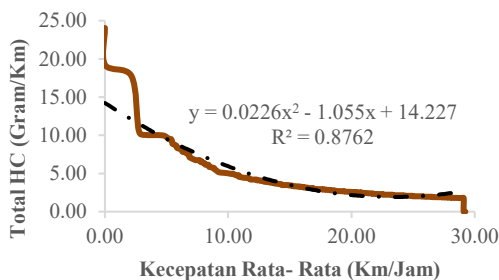
3.4 HUBUNGAN KECEPATAN RATA-RATA DAN EMISI

Analisis hubungan antara kecepatan rata-rata dan emisi menunjukkan kecenderungan yang konsisten, yaitu emisi HC, CO, dan NOx menurun seiring peningkatan kecepatan pada rentang 5–35 km/jam. Pada kecepatan rendah, kendaraan lebih sering berada pada kondisi creeping, percepatan, dan perlambatan yang meningkatkan konsumsi energi serta pembentukan emisi. Hubungan kuantitatif antara kecepatan rata-rata dan emisi ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) lebih besar dari 0,8 dan mendekati 1, yang menandakan korelasi sangat kuat. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan kecil pada kecepatan rata-rata dapat memengaruhi besaran emisi secara signifikan. Chen et al. (2024) menyatakan bahwa kecepatan di bawah kisaran optimal merupakan indikator kemacetan yang meningkatkan durasi stop-and-go. Barth dan Boriboonsomsin (2008) juga menegaskan bahwa emisi pada kondisi tidak stabil jauh lebih tinggi dibandingkan aliran konstan. Secara mekanistik,

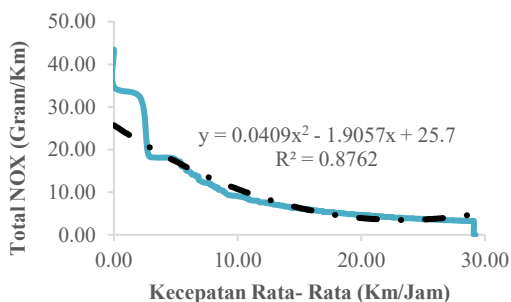
peningkatan kecepatan yang stabil menurunkan Vehicle Specific Power (VSP) rata-rata sehingga beban mesin lebih efisien dan emisi berkurang. Dengan demikian, peningkatan kelancaran lalu lintas berpotensi menekan emisi kendaraan ringan di koridor perkotaan.



Gambar 5. Grafik Hubungan Kecepatan Rata-rata Terhadap CO Pada Jl Nusantara



Gambar 6. Grafik Hubungan Kecepatan Rata-rata Terhadap HC Pada Jl Nusantara



Gambar 7. Grafik Hubungan Kecepatan Rata-rata Terhadap NOx Pada Jl Nusantara

Karakteristik driving cycle di Jalan Nusantara menunjukkan lalu lintas perkotaan Makassar didominasi fluktuasi kecepatan detik-per-detik dengan proporsi creeping hingga 54,54%. Kondisi ini menandakan kendaraan lebih banyak bergerak pada kecepatan rendah akibat kepadatan, aktivitas samping jalan, serta pengaruh simpang, sehingga membentuk pola stop-and-go yang konsisten. Keseimbangan antara acceleration 27,27%–35,61% dan deceleration 21,21%–87,17% memperlihatkan

bahwa kendaraan jarang beroperasi stabil, melainkan terus menyesuaikan kecepatan.

Hasil estimasi emisi menunjukkan karbon monoksida (CO) sebagai polutan dominan dengan nilai maksimum 9,829 g/km, sedangkan HC <0,127 g/km dan NOx 0,047–0,230 g/km. Dominasi CO berkaitan dengan pembakaran tidak sempurna pada kondisi creeping dan beban mesin rendah.

Hubungan kecepatan dan emisi memperlihatkan tren menurun pada rentang 5–35 km/jam dengan $R^2 > 0,8$, menegaskan bahwa kemacetan menggeser kendaraan menggunakan operasi mesin yang tidak efisien. Dengan demikian, peningkatan kelancaran arus lalu lintas berpotensi signifikan menurunkan emisi kendaraan ringan di koridor perkotaan Makassar.

4. CONCLUSION

Penelitian ini menunjukkan bahwa driving cycle lokal di Jl. Nusantara Makassar stop-and-go dengan proporsi creeping hingga 60,96 %. serta keseimbangan acceleration (27,27%–44,70%) dan deceleration (21,21%–33,69%). Pola tersebut meningkatkan emisi kendaraan ringan per kilometer, khususnya pada jam sibuk. Karbon monoksida menjadi polutan dominan dengan nilai maksimum 9,829 g/km, sedangkan HC <0,127 g/km dan NOx 0,047–0,230 g/km. Hubungan kecepatan dan emisi menunjukkan tren menurun pada rentang 5–35 km/jam dengan $R^2 > 0,8$, menegaskan kemacetan sebagai faktor kunci peningkatan emisi. Integrasi driving cycle lokal dan MOVES memberikan dasar realistis bagi pengendalian emisi transportasi di kota berkembang seperti Makassar.

5. REFERENSI

- Anastasya, N., & Suwandana, E. (2022). Efek Pertumbuhan Ekonomi, Kependudukan, Dan Transportasi Terhadap Kualitas Udara Sumatera Selatan. Publikasi Penelitian Terapan Dan Kebijakan, 5(2). <https://doi.org/10.46774/pptk.v5i2.498>
- Frey, H. C., Roupail, N. M., & Zhai, H. (2008). Link-Based Emission Factors for Heavy-Duty Diesel Trucks Based on Real-World Data. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2058(1), 23–32. <https://doi.org/10.3141/2058-04>
- Frey, H. C., Zhang, K., & Roupail, N. M. (2008). Fuel Use and Emissions Comparisons for Alternative Routes, Time of Day, Road Grade, and Vehicles Based on in-Use Measurements. Environmental Science & Technology, 42(7), 2483–2489. <https://doi.org/10.1021/es702493v>

- Frey, H. C., Zhang, K., & Rouphail, N. M. (2010). Vehicle-Specific Emissions Modeling Based Upon on-Road Measurements. *Environmental Science & Technology*, 44(9), 3594–3600. <https://doi.org/10.1021/es902835h>
- Jp, S. N. (n.d.). MODEL ESTIMASI EMISI KENDARAAN RINGAN BERBASIS POLA SIKLUS MENGENAL DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM MOVES PADA RUAS JALAN NASIONAL DI KOTA MAKASSAR.
- Jp, S. N., Aly, S. H., & Ramli, M. I. (2020). Model emission estimation of light vehicle based on the driving cycle with using moves program on national roads in Makassar city. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 575(1), 012166. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012166>
- Maricq, M. M., Szente, J. J., Adams, J. A., Tennison, P., & Rumpsa, T. (2013). Influence of Mileage Accumulation on the Particle Mass and Number Emissions of Two Gasoline Direct Injection Vehicles. *Environmental Science & Technology*, 47(20), 11890–11896. <https://doi.org/10.1021/es402686z>
- Marotta, A., Pavlovic, J., Ciuffo, B., Serra, S., & Fontaras, G. (2015). Gaseous Emissions From Light-Duty Vehicles: Moving From NEDC to the New WLTP Test Procedure. *Environmental Science & Technology*, 49(14), 8315–8322. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01364>
- Mei, H., Wang, L., Wang, M., Zhu, R., Wang, Y., Li, Y., Zhang, R., Wang, B., & Bao, X. (2021). Characterization of Exhaust CO, HC and NO_x Emissions From Light-Duty Vehicles Under Real Driving Conditions. *Atmosphere*, 12(9), 1125. <https://doi.org/10.3390/atmos12091125>
- Montero, L., Paneque, M. P., Barceló, J., Homoceanu, S., & Casanovas, J. (2016). Case Study on Cooperative Car Data for Estimating Traffic States in an Urban Network. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2594(1), 127–137. <https://doi.org/10.3141/2594-16>
- Patunrangi, S. N. J., Kadir, A. I. N. K., & Sutrisno, M. (2023). Estimasi Emisi Kendaraan Ringan pada Ruas Jalan Perintis Kemerdekaan Kota Makassar. *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 23–28. <https://doi.org/10.22487/renstra.v4i1.458>
- Saniyyah, R. D. (2024). Peran Inovasi Teknologi Dalam Green Transportasi: Mewujudkan Green Economy Dan Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Ekonomi Journal of Economic*, 15(01). <https://doi.org/10.47007/jeko.v15i01.7632>
- Suryoprayogo, H. (2023). Spatio-Temporal Analysis Polutan Karbon Monoksida (CO) Jakarta Selama Pandemi Menggunakan Sentinel-5p TROPOMI. *Journal of Informatics and Communication Technology (Jict)*, 4(2), 47–54. https://doi.org/10.52661/j_ict.v4i2.101
- Tang, L., Yang, X., Kan, Z., & Li, Q. (2015). Lane-Level Road Information Mining From Vehicle GPS Trajectories Based on Naïve Bayesian Classification. *Isprs International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2660–2680. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042660>
- Usama, M., Koutsopoulos, H. N., & Wang, L. (2025). Estimating City-Wide Operating Mode Distribution of Light-Duty Vehicles: A Neural Network-Based Approach. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. <https://doi.org/10.1177/03611981251348465>